



⑩ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 53 299 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
B 60 S 1/02
G 06 F 17/50

②① Aktenzeichen: 100 53 299.3
②② Anmeldetag: 27. 10. 2000
④③ Offenlegungstag: 16. 5. 2002

DE 100 53 299 A 1

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦④ Vertreter:
Gleiss & Große, Patentanwaltskanzlei, 70469
Stuttgart

⑦② Erfinder:
Zimmer, Joachim, 77880 Sasbach, DE

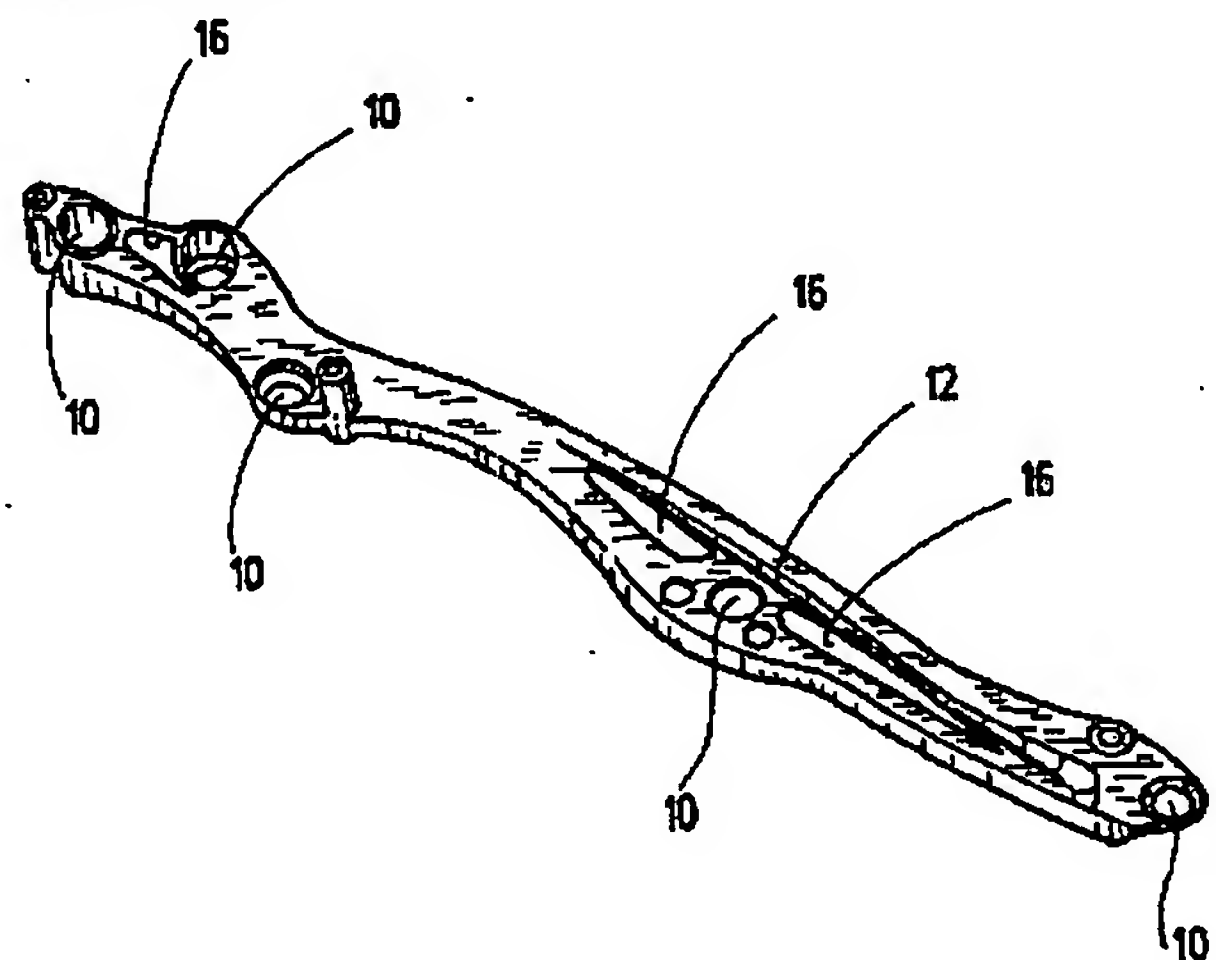
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Konstruktion eines Bauteils und Wischanlagenbauteil

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Konstruktion eines Bauteils.
Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren die folgenden Schritte:

- a) Konstruieren eines Designraummodells;
- b) Anwenden eines auf der Finite-Elemente-Methode basierenden Strukturoptimierungsverfahrens auf das Designraummodell, um ein strukturoptimiertes Modell zu erzeugen; und
- c) Anwenden eines 3-D-Konstruktionsverfahrens auf das strukturoptimierte Modell, um ein 3-D-Modell zu erzeugen.



DE 100 53 299 A 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Konstruktion eines Bauteils. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Wischanlagenbauteil für die Wischanlage eines Kraftfahrzeuges.

Stand der Technik

[0002] Die Konstruktion von geometrisch komplexen Bauteilen erfolgt derzeit überwiegend mit Hilfe von CAD-Systemen. Mit Hilfe dieser Systeme werden die Bauteile als 3D-Modelle erzeugt. Um festzustellen, wo die hoch belasteten und die nur wenig belasteten Bereiche des Bauteils liegen werden die 3D-Modelle mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode rechnerisch überprüft. Der Grundgedanke der Finite-Elemente-Methode besteht darin, beliebig geformte Körper in eine endliche Anzahl von Elementen zu untergliedern, um ihr mechanisches Verhalten zu beschreiben. Die endliche Anzahl der Elemente lässt sich aufgrund ihrer einfacheren Form bezüglich ihres mechanischen Verhaltens idealisiert betrachten. Aus dem Verhalten aller einzelnen Elemente kann, unter Berücksichtigung der Kompatibilität an den Elementübergängen, eine Aussage über das mechanische Gesamtverhalten des Körpers getroffen werden. Ein kontinuierliches Problem wird somit in ein diskretes Problem überführt und darüber approximativ gelöst. Mit zunehmender Erhöhung des Diskretisierungsgrades nähert sich die approximative Lösung der exakten Lösung an. Für die Analyse des komplexen Verhaltens von flexiblen Materialien unter mechanischer Beanspruchung bietet sich demnach eine strukturierte Vorgehensweise wie die der Finite-Elemente-Methode an. Unter Berücksichtigung geometrischer und physikalischer Vorgaben ist die allgemeine Vorgehensweise bei der Lösung elastischer Kontinuumsprobleme wie folgt:

- Zerlegung des zu betrachtenden Kontinuums, durch gedachte Linien oder Flächen, in eine endliche Anzahl von geometrisch beschreibbaren Strukturelementen;
- Idealisierung der Elementverbindungen durch Reduktion der unendlichen Anzahl von Partikelbindungen auf eine endliche Anzahl von Knotenpunkten;
- Bestimmung des Verschiebungszustandes in allen Elementen über die Knotenpunktverschiebungen, mit Hilfe geeigneter Interpolationsverfahren;
- Ermittlung des Verzerrungszustandes in allen Elementen aus den vorliegenden Verschiebungen;
- Berechnung des Spannungszustandes innerhalb der Elemente sowie an deren Übergängen, anhand der Verzerrungen und der physikalischen Materialeigenschaften;
- Aufstellen eines Systems von Knotenkräften, das im Gleichgewicht mit den Oberflächen- und Volumenkräften steht;
- Einsetzen aller Randbedingungen, die zur Einschränkung von Freiheitsgraden einzelner Knoten führen; und
- Lösung des resultierenden Gleichungssystems.

[0003] Bezüglich einer näheren Erläuterung der an sich bekannten Finite-Elemente-Methode wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

[0004] Mit Hilfe der über die Finite-Elemente-Methode erhaltenen Informationen wird das 3D-Modell modifiziert, das heißt das Modell wird in den kritischen Bereichen verstärkt und in den Bereichen geringer Belastung können der Querschnitt und/oder die Wandstärken reduziert werden.

Diese Reduzierung des Querschnitts und/oder der Wandstärken ermöglicht eine Materialeinsparung und ergibt weiterhin ein geringeres Gewicht, was in vielen Fällen, beispielsweise zur Kostensenkung, erwünscht ist.

[0005] Nach der Modifikation des 3D-Modells anhand der durch die Finite-Elemente-Methode gewonnenen Informationen erfolgt eine weitere Überprüfung, die wiederum mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode durchgeführt wird. Sind die dadurch gewonnenen Ergebnisse zufriedenstellend, so kann das Bauteil hergestellt werden.

[0006] Nachteilig an dieser bekannten Vorgehensweise ist, dass der Aufwand und somit die Kosten hoch sind.

Vorteile der Erfindung

[0007] Dadurch, dass das erfindungsgemäße Verfahren zur Konstruktion eines Bauteils die folgenden Schritte umfasst:

- a) Konstruieren eines Designraummodells;
- b) Anwenden eines auf der Finite-Elemente-Methode basierenden Strukturoptimierungsverfahrens auf das Designraummodell, um ein strukturoptimiertes Modell zu erzeugen; und
- c) Anwenden eines 3D-Konstruktionsverfahrens auf das strukturoptimierte Modell, um ein 3D-Modell zu erzeugen,

können bessere Bauteile mit einem relativ geringen Aufwand konstruiert werden. Der Designraum besteht dabei aus dem für das zu erstellende Bauteil zur Verfügung stehenden Bauraum. Unter Berücksichtigung von Randbedingungen (zum Beispiel für Befestigungsstellen) und auftretenden Lastfällen (Krafteinleitungen und/oder angreifende Momente) werden bei Schritt b) die hoch belasteten und die weniger belasteten Bereiche des Bauteils bestimmt. Diejenigen Bereiche, die nicht zur Steifigkeit des Bauteils beitragen werden ausgeblendet. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird das 3D-Konstruktionsverfahren gemäß Schritt c) erst auf das bereits strukturoptimierte Modell angewendet.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorzugsweise vorgesehen, dass der Schritt a) die folgenden Teilschritte umfasst:

- a1) Festlegen eines Bauteilwerkstoffes; und
- a2) Berücksichtigen von Bauteilwerkstoffparametern.

[0009] In diesem Zusammenhang wird besonders bevorzugt, dass der in Schritt a1) festgelegte Bauteilwerkstoff ein Aluminiumschaumwerkstoff ist. Derartige Aluminiumschaumwerkstoffe werden hergestellt, indem Aluminiumpulver und pulverförmige Treibmittel gemischt werden und eine Verdichtung vorgenommen wird. Bei einer nachfolgenden Erwärmung der verdichteten Mischung spalten die Treibmittel Gasbläschen ab, die das Metall durchsetzen und eine Porenstruktur erzeugen. Bauteile, die mittels des Fertigungsverfahrens Aufschäumen von Aluminiumwerkstoffen hergestellt werden, sind durch Materialanhäufungen gekennzeichnet. Daher eignen sie sich ideal für die Umsetzung von strukturoptimierten Modellen, wie dies später noch näher erläutert wird. Wie bei anderen Werkstoffen auch, so umfassen die bei Schritt a2) berücksichtigten Bauteilwerkstoffparameter vorzugsweise zumindest den Elastizitätsmodul- und/oder die Querkontraktionszahl. Sowohl den Elastizitätsmodul als auch die Querkontraktionszahl erhält man über das Hookesche Gesetz, das besagt, dass Spannung und Dehnung einander proportional sind. Der Elastizitätsmodul ist dabei das Verhältnis der erforderlichen Spannung zur er-

zielten relativen Längenänderung, das heißt zur Dehnung. Die Querkontraktionszahl, die auch als Poissonzahl bezeichnet wird, ist ein Maß dafür, wie sich der Querschnitt des Materials bei einer Verzerrung verändert. Bei der Strukturoptimierung ist des Weiteren dahingehend zu optimieren, dass die Elemente nur so belastet werden, dass die zulässigen Festigkeitswerte (zum Beispiel die Streckgrenze und/oder die Zugfestigkeit) des festgelegten Bauteilwerkstoffes nicht überschritten werden. Weiterhin sollten nur die Elemente dargestellt werden, die einer bestimmten Mindestbelastung ausgesetzt werden.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorzugsweise weiterhin vorgesehen, dass Schritt b) die folgenden Teilschritte umfasst:

- b1) Durchführen einer Topologieoptimierung; und
- b2) Durchführen einer Shapeoptimierung.

[0011] Die Topologieoptimierung dient dabei dazu, die eigentliche Struktur zu finden, während die anschließend durchgeführte so genannte Shapeoptimierung dazu dient, die gefundene Struktur beziehungsweise die gefundene Geometrie zu glätten, wodurch in der Regel das Spannungsniveau gesenkt werden kann. Somit kann eine harmonische Geometrie erzeugt werden. Wenn das Bauteil beispielsweise eine Werkzeugform ist, wirkt sich eine harmonische Geometrie positiv auf das spätere Befüllen der Werkzeugform aus.

[0012] Zur Erzeugung des 3D-Modells wird bei Schritt c) vorzugsweise ein an sich bekanntes CAD-Verfahren eingesetzt. Sofern durchgeführt umfasst die Herstellung eines Bauteils auf der Grundlage des 3D-Modells gemäß Schritt d) vorzugsweise das Aufschäumen eines Aluminiumwerkstoffes in der bereits erläuterten Weise.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorzugsweise weiterhin vorgesehen, dass das durch Schritt b) erzeugte strukturoptimierte Modell in Form von zumindest eine Punktwolke angebenen Daten vorliegt, dass das bei Schritt c) erzeugte 3D-Modell auf der Grundlage der die zumindest eine Punktwolke angebenen Daten erzeugt wird, und dass das 3D-Modell ein Flächenmodell oder ein Solidmodell ist. Wie bereits erwähnt, sind Bauteile, die mittels des Fertigungsverfahrens Aufschäumen von Aluminiumwerkstoffen hergestellt werden, durch Materialanhäufungen gekennzeichnet, die den durch die Punktwolken gekennzeichneten Anhäufungen von Volumenelementen entsprechen. Deshalb eignet sich dieses Fertigungsverfahren in idealer Weise für die Umsetzung der Ergebnisse der Strukturoptimierung mittels der Finite-Elemente-Methode.

[0014] Bei dem durch das erfindungsgemäße Verfahren konstruierten Bauteil oder bei dem gemäß Schritt d) hergestellten Bauteil kann es sich beispielsweise um ein Werkzeug handeln, insbesondere um eine Gussform.

[0015] Besonders gute Ergebnisse sind beispielsweise zu erwarten, wenn das bei Schritt d) hergestellte Bauteil ein Wischanlagenbauteil ist, da derartige im Kraftfahrzeugsektor benötigte Wischanlagenbauteile häufig eine relativ komplizierte Form aufweisen, die der Optimierung durch das erfindungsgemäße Verfahren zugänglich sind.

[0016] Als Wischanlagenbauteil kommen beispielsweise eine Wischerkonsole, ein Wischerlagergehäuse, ein Wischerarmbefestigungsteil oder ein Wischermotorgetriebegehäuse in Betracht.

Zeichnungen

[0017] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der zugehörigen Zeichnungen noch näher erläutert.

[0018] Es zeigen:

[0019] Fig. 1 eine perspektivische Darstellung der Unterseite einer Druckgusskonsole für eine Wischanlage gemäß dem Stand der Technik;

5 [0020] Fig. 2 eine perspektivische Darstellung der Oberseite der Druckgusskonsole für eine Wischanlage gemäß Fig. 1;

[0021] Fig. 3 eine perspektivische Darstellung eines Designraummodells für eine Konsole für eine Wischanlage;

10 [0022] Fig. 4 eine strukturoptimierte Konsole für eine Wischanlage die mit Hilfe des Designraummodells von Fig. 3 erhalten wurde;

[0023] Fig. 5 eine Querschnittsansicht eines Druckgussbauteils;

15 [0024] Fig. 6 eine Querschnittsansicht eines geschäumten Bauteils; und

[0025] Fig. 7 ein Beispiel für eine Werkzeugherstellung aus einem strukturoptimierten Bauteil.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0026] Fig. 1 zeigt eine perspektivische Darstellung der Unterseite einer Druckgusskonsole für eine Wischanlage gemäß dem Stand der Technik. Die in Fig. 1 dargestellte Druckgusskonsole für eine Wischanlage weist neben mehreren Durchbrüchen 10 eine Vielzahl von Stegen 11 auf, die zur Versteifung der Druckgusskonsole vorgesehen sind. Die Stege 11 sind in unterschiedlichen Bereichen der Druckgusskonsole mit einer unterschiedlichen Dichte vorgesehen, wobei die Dichte in stärker belasteten Bereichen höher ist. Allgemein wird beim Stand der Technik die Verwendung von Versteifungsstegen 11 gegenüber einer insgesamt größeren Wandstärke bevorzugt, um den Materialbedarf so gering wie möglich zu halten und die Masse des Bauteils nicht unnötig zu vergrößern.

[0027] Fig. 2 zeigt eine perspektivische Darstellung der Oberseite der Druckgusskonsole für eine Wischanlage gemäß Fig. 1. Neben den Durchbrüchen 10 sind in Fig. 2 weiterhin zwei rillenartige Vertiefungen 12 zu erkennen.

40 [0028] Fig. 3 zeigt eine perspektivische Darstellung eines Designraummodells für eine Konsole für eine Wischanlage, wie es durch den Verfahrensschritt a) erzeugt wird. Beim Designraum-Ansatz wird von dem für das Bauteil zur Verfügung Bauraum ausgegangen. Insbesondere wenn ein Aluminiumschaumwerkstoff eingesetzt werden soll, wird das Designraummodell als Solidmodell vorgesehen, das heißt die beim Stand der Technik vorgesehenen Versteifungsstege 11 entfallen zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig. Dabei wird in der Regel eine harmonische Veränderung der Materialstärke bevorzugt, soweit der Bauraum und gegebenenfalls weitere Randbedingungen dies zulassen.

[0029] Auch das in Fig. 3 dargestellte Designraummodell weist Durchbrüche 10 auf, die den Durchbrüchen 10 beim in den Fig. 1 und 2 dargestellten Stand der Technik entsprechen. Die Durchbrüche 10 stellen dabei Randbedingungen für die Konstruktion des Designraummodells dar, ebenso wie die zu erwartenden Lastfälle, das heißt Kräfteinleitungen und/oder angreifende Momente.

65 [0030] Fig. 4 zeigt eine strukturoptimierte Konsole für eine Wischanlage die mit Hilfe des Designraummodells von Fig. 3 erhalten wurde, indem ein auf der Finite-Elemente-Methode basierendes Strukturoptimierungsverfahren auf das Designraummodell angewendet wurde. Gemäß der Darstellung von Fig. 4 sind diejenigen Bereich des Bauteils ausgeblendet, die kaum belastet werden beziehungsweise die nicht zur Steifigkeit des Bauteils beitragen. Neben dem gegenüber Fig. 3 veränderten Umriss des Bauteils wird dies Besonders durch die Durchbrüche 16 deutlich, die Bei-

spielsweise im Bereich der Rille 12 vorgesehen sind. Derartige Durchbrüche 16 können allgemein in Bereichen des Bauteils vorgesehen werden, die kaum oder gar nicht belastet werden. Dadurch kann eine deutliche Materialersparnis erzielt werden, durch die die Herstellungskosten sinken und durch die die Masse des Bauteils verringert werden kann. [0031] Zur Erzeugung des in Fig. 4 dargestellten strukturoptimierten Modells wurde der Verfahrensschritt b) in die Teilschritte Durchführen einer Topologieoptimierung und die Durchführen einer Shapeoptimierung aufgeteilt. Dabei wurde die eigentliche Struktur durch die Topologieoptimierung gefunden, und die Shapeoptimierung wurde zur Glättung der gefundenen Geometrie eingesetzt. Durch eine derartige Glättung kann das Spannungsniveau in vielen Fällen gesenkt werden.

[0032] Das in Fig. 4 dargestellte strukturoptimierte Modell liegt in der Regel in Form von Daten vor, die eine oder mehrere Punktwolken angeben. Diese Daten eignen sich besonders für die anschließend vorgesehene Anwendung eines 3D-Konstruktionsverfahrens, beispielsweise einem CAD-Verfahren. Dabei stellt es einen wesentlichen Unterschied zum Stand der Technik dar, dass das 3D-Konstruktionsverfahren erst auf das bereits strukturoptimierte Modell angewendet wird.

[0033] Fig. 5 zeigt eine Querschnittsansicht eines Druckgussbauteils. Im Gegensatz hierzu zeigt Fig. 6 eine Querschnittsansicht eines geschäumten Bauteils. Ein Vergleich der Fig. 5 und 6 zeigt, dass anstelle der beim Stand der Technik vorgesehenen Stege 11 bei dem durch das erfindungsgemäße Verfahren hergestellten Bauteil der Gesamtquerschnitt eine harmonische Geometrie aufweist. Obwohl die Querschnittsfläche des in Fig. 6 dargestellten Bauteils größer als die Querschnittsfläche des in Fig. 5 dargestellten Bauteils ist, wird die Masse durch den Einsatz von aufgeschäumten Werkstoffen, insbesondere Aluminiumschaumwerkstoffen nicht vergrößert. In vielen Fällen ist es sogar möglich die Masse des Bauteils gegenüber Bauteilen zu verringern, die durch bekannte Verfahren hergestellt wurden.

[0034] Fig. 7 zeigt ein Beispiel für eine Werkzeugherstellung aus einem strukturoptimierten Bauteil. Dabei ist die obere Werkzeughälfte mit 13 bezeichnet, während die untere Werkzeughälfte mit 14 bezeichnet ist. Die Konsole für Wischanlagen ist in Fig. 7 mit dem Bezugszeichen 15 versehen. Fig. 7 ist zu entnehmen, dass durch die Shapeoptimierung eine insgesamt harmonische Geometrie erzeugt wurde, die das spätere Füllen der Werkzeugform erleichtert, wobei das Werkzeug durch die obere Werkzeughälfte 13 und die untere Werkzeughälfte 14 gebildet ist.

[0035] Insbesondere wenn das gemäß der Erfindung vorgesehene Strukturoptimierungsverfahren in Verbindung mit geschäumten Werkstoffen wie Aluminiumschaumwerkstoffen eingesetzt wird kann die Ähnlichkeit der durch das Optimierungsverfahren gewonnenen Geometrie und der für das Herstellungsverfahren erforderlichen Geometrie in vorteilhafter Weise genutzt werden und sowohl hinsichtlich der Bauteile als auch hinsichtlich der Werkzeuge kann eine Kostenreduzierung erreicht werden, wobei ein weiterer Vorteil in der Reduzierung der Masse beziehungsweise des Gewichts zu sehen ist.

[0036] Die vorhergehende Beschreibung der Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihre Äquivalente zu verlassen.

1. Verfahren zur Konstruktion eines Bauteils, dadurch gekennzeichnet, dass es die folgenden Schritte umfasst:

- a) Konstruieren eines Designraummodells;
- b) Anwenden eines auf der Finite-Elemente-Methode basierenden Strukturoptimierungsverfahrens auf das Designraummodell, um ein strukturoptimiertes Modell zu erzeugen; und
- c) Anwenden eines 3D-Konstruktionsverfahrens auf das strukturoptimierte Modell, um ein 3D-Modell zu erzeugen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es den folgenden weiteren Schritt umfasst:

- d) Herstellen eines Bauteils auf der Grundlage des 3D-Modells.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt a) die folgenden Teilschritte umfasst:

- a1) Festlegen eines Bauteilwerkstoffes; und
- a2) Berücksichtigen von Bauteilwerkstoffparametern.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der in Schritt a1) festgelegte Bauteilwerkstoff ein Aluminiumschaumwerkstoff ist, und dass die in Schritt a2) berücksichtigten Bauteilwerkstoffparameter zumindest den Elastizitätsmodul und/oder die Querkontraktionszahl einschließen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt b) die folgenden Teilschritte umfasst:

- b1) Durchführen einer Topologieoptimierung; und
- b2) Durchführen einer Shapeoptimierung.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt c) die Anwendung eines CAD-Verfahrens umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt d) das Aufschäumen eines Aluminiumwerkstoffes umfasst.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das durch Schritt b) erzeugte strukturoptimierte Modell in Form von zumindest eine Punktwolke angehenden Daten vorliegt, dass das bei Schritt c) erzeugte 3D-Modell auf der Grundlage der die zumindest eine Punktwolke angehenden Daten erzeugt wird, und dass das 3D-Modell ein Flächenmodell oder ein Solidmodell ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das bei Schritt d) hergestellte Bauteil ein Werkzeug ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das bei Schritt d) hergestellte Bauteil ein Wischanlagenbauteil ist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das bei Schritt d) hergestellte Bauteil eine Wischerkonsole, ein Wischerlagergehäuse, ein Wischerarmbefestigungsteil oder ein Wischermotorgetriebegehäuse ist.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

13. Wischanlagenbauteil, dadurch gekennzeichnet, dass es durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 hergestellt ist.

14. Wischanlagenbauteil nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass es eine Wischerkonsole, ein Wi-

scherlagergehäuse, ein Wischerarmbefestigungsteil,
ein Wischerarmgelenkteil oder ein Wischermotorge-
triebegehäuse ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

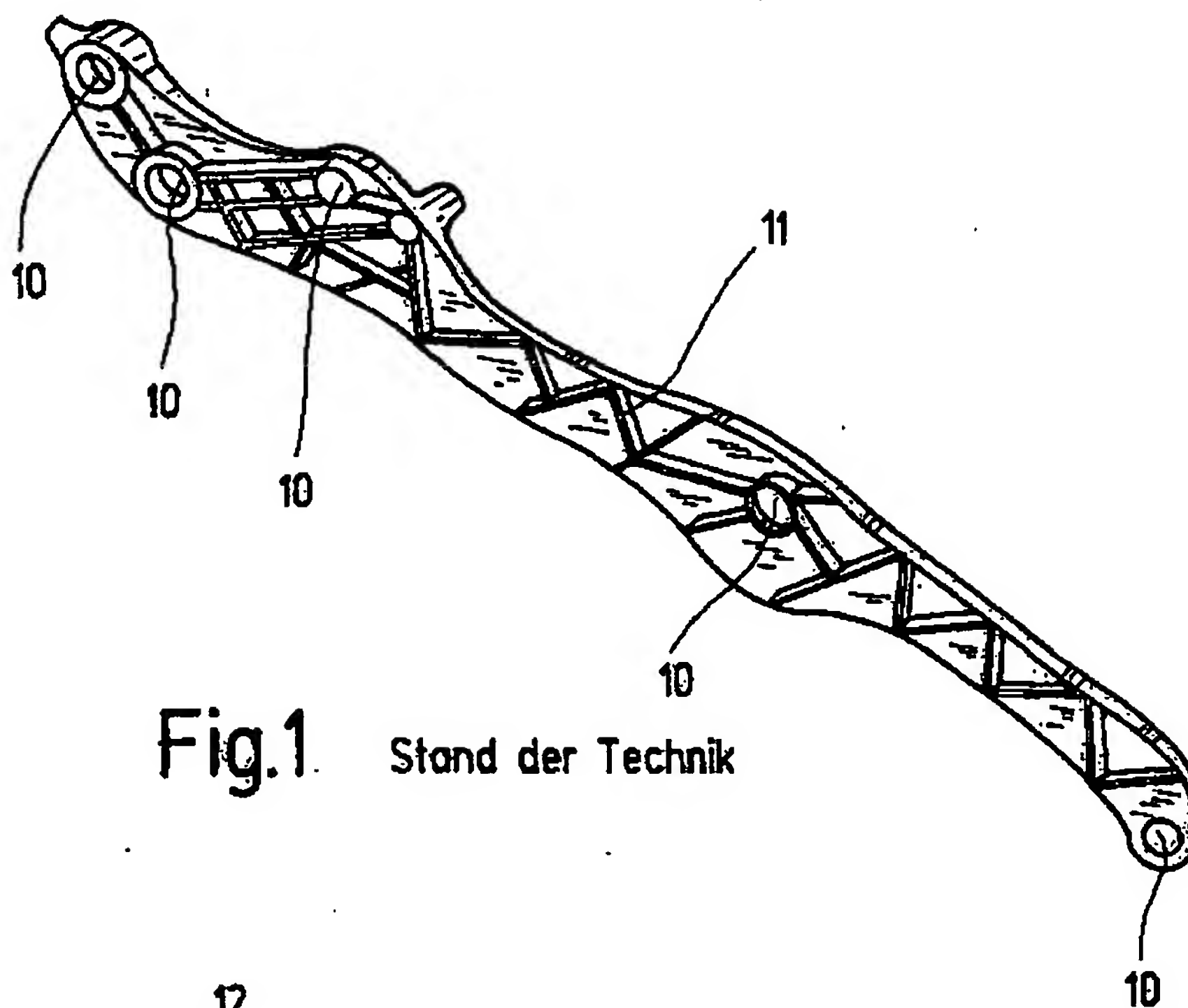


Fig.1 Stand der Technik

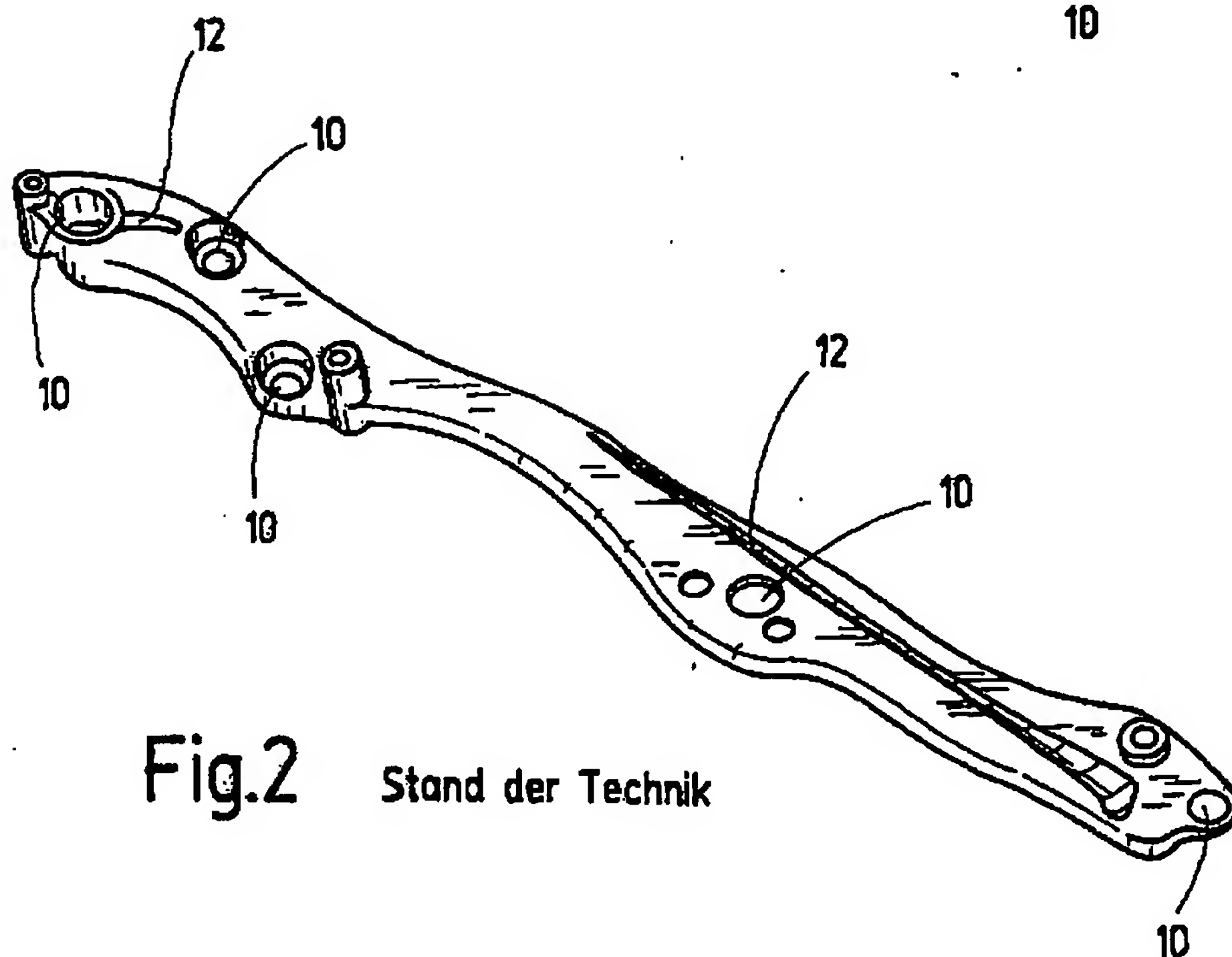
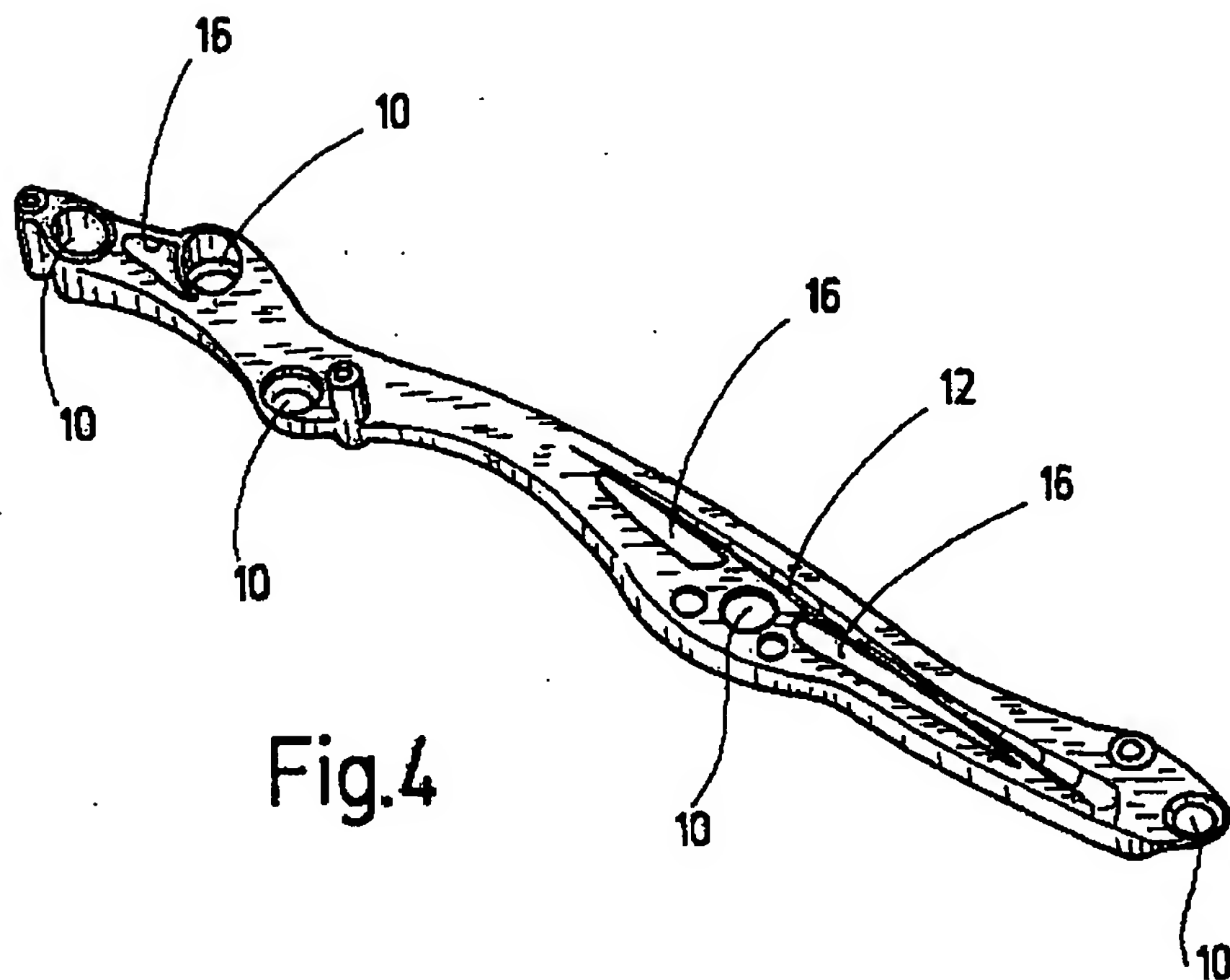
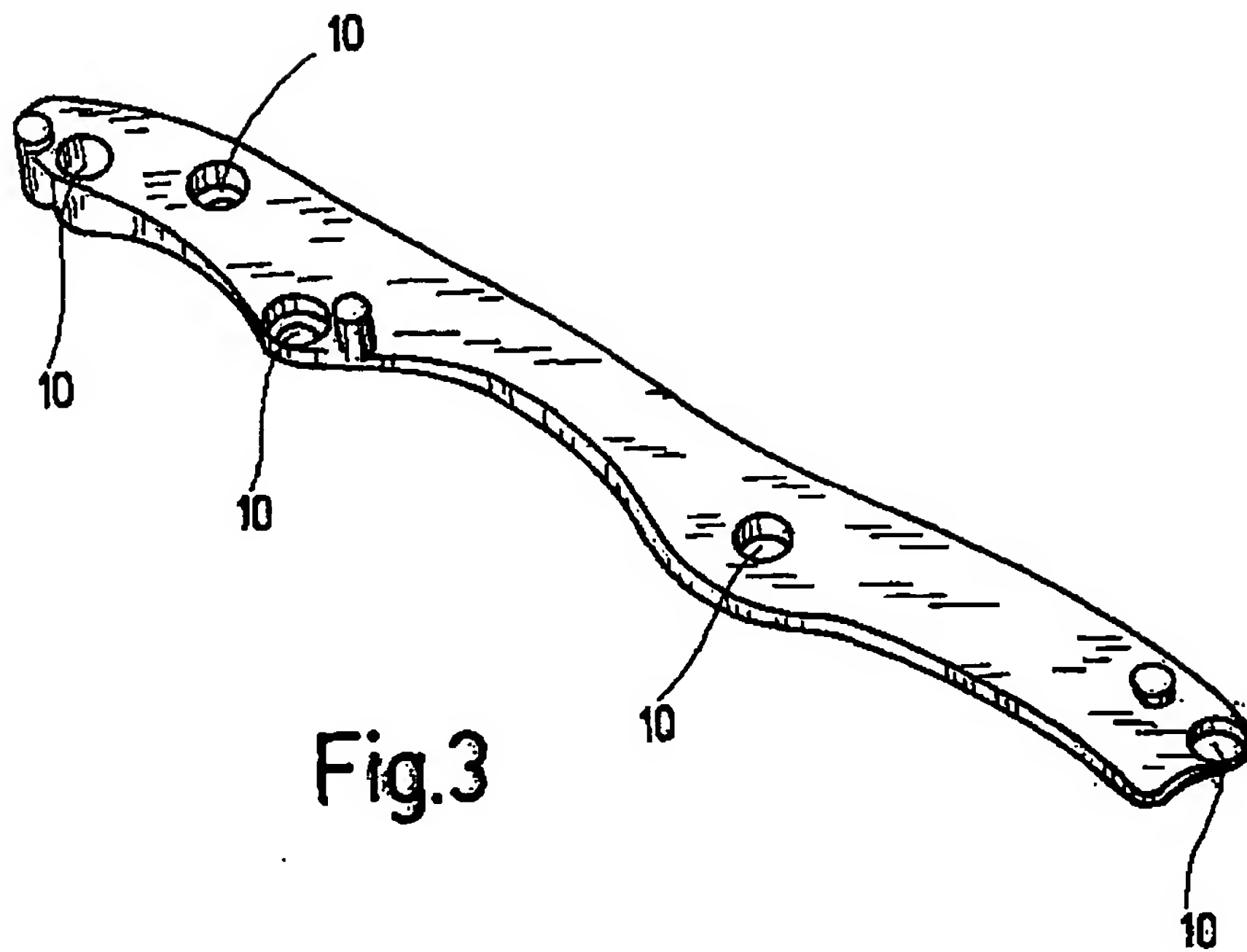


Fig.2 Stand der Technik



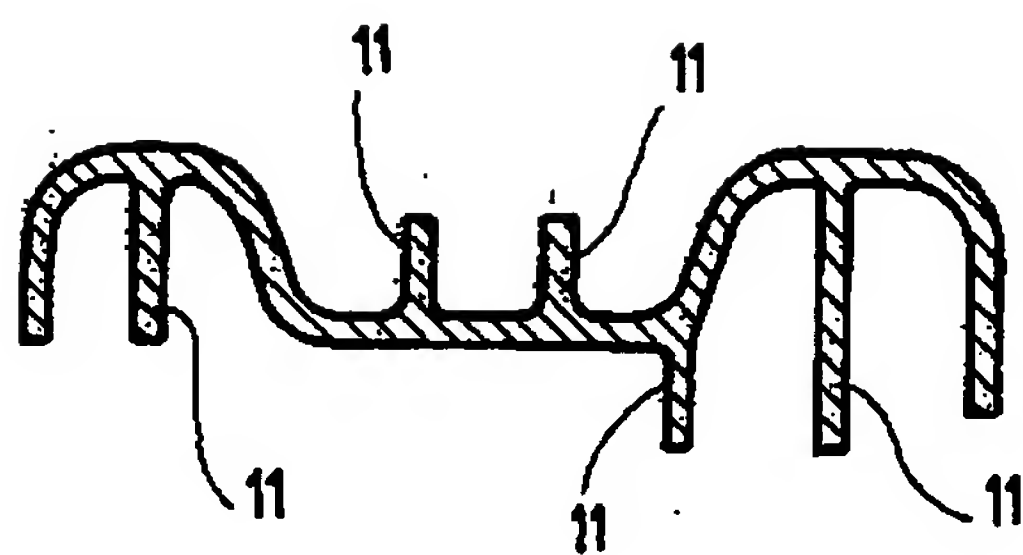


Fig.5

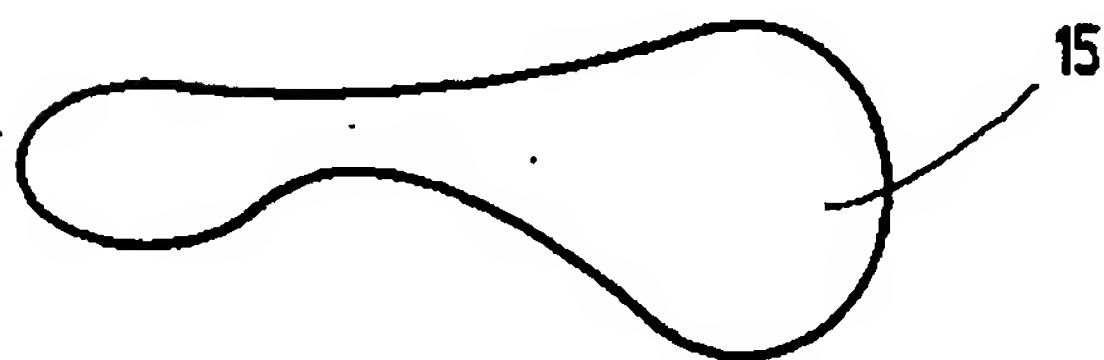


Fig.6

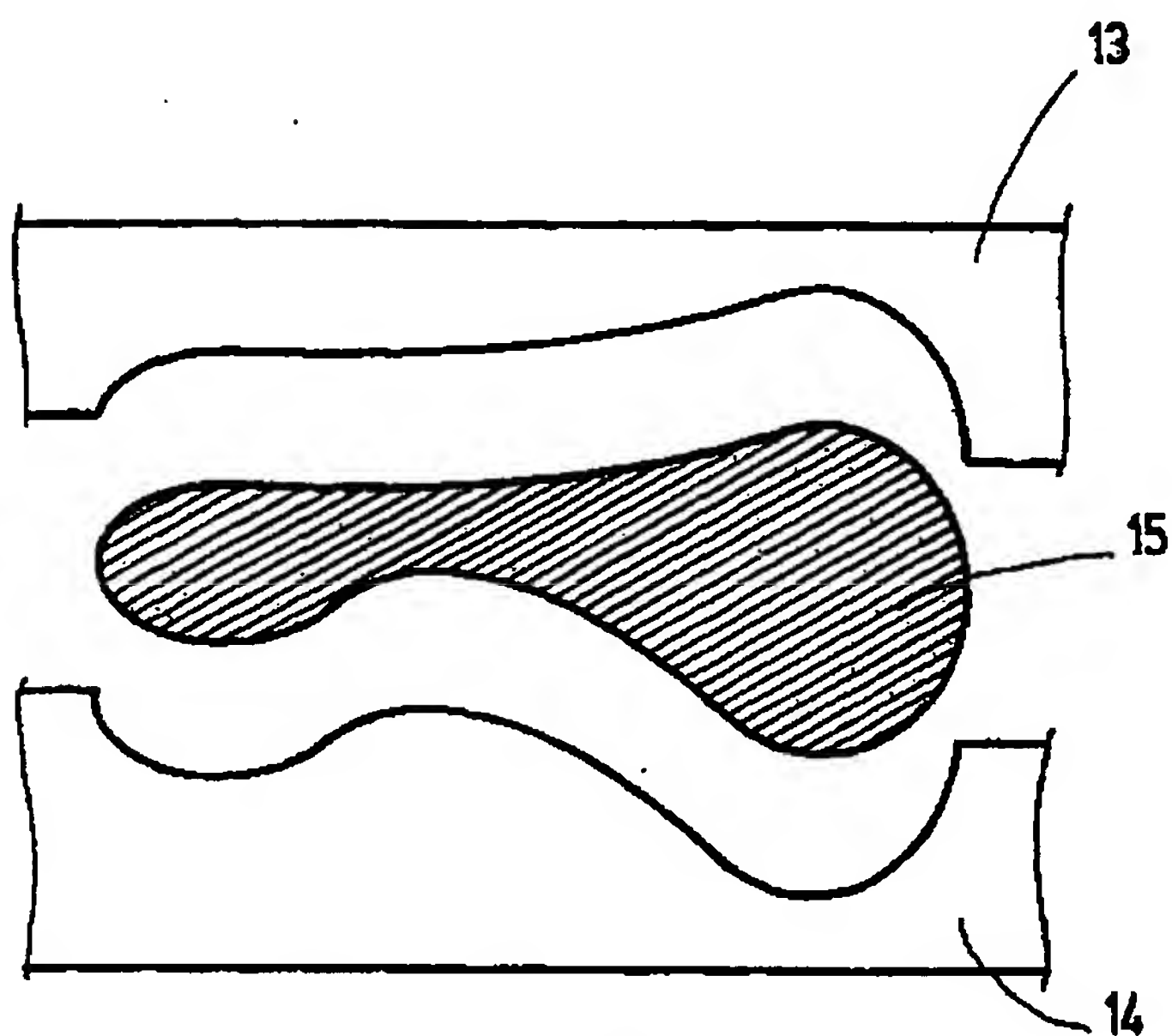


Fig.7